



L'Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon (IP2i) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université Claude Bernard Lyon 1. Ses équipes mènent des recherches en physique des particules, physique nucléaire, astroparticules et instrumentation, avec des applications en santé et en environnement. Engagé depuis plusieurs décennies dans les grands programmes du CERN, l'IP2i contribue aujourd'hui aux expériences du LHC et au projet du Future Circular Collider (FCC).

IP2i

4 Rue E. Fermi
69622 Villeurbanne Cedex
04 72 44 84 57
<https://www.ip2i.in2p3.fr/>

Le point de vue de l'Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon

EN BREF.

Implanté sur le campus LyonTech-La Doua, l'Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon (IP2i), unité mixte du CNRS et de l'Université Claude Bernard Lyon 1, contribue depuis plus de cinquante ans aux grandes expériences du CERN. Ses équipes y ont développé une expertise reconnue dans la conception des détecteurs, de leur électronique et des méthodes d'analyse qui permettent d'explorer les constituants fondamentaux de la matière.

Cette expertise prépare les découvertes scientifiques de demain, mais produit également des retombées concrètes pour la société. Les technologies développées à l'IP2i trouvent aujourd'hui des applications dans l'imagerie des infrastructures et l'imagerie médicale. Ces activités contribuent aussi à former des scientifiques et des ingénieurs qui acquièrent des compétences transférables en instrumentation, en électronique, en informatique et en analyse des données, mobilisables dans la recherche comme dans d'autres secteurs.

Forte de son expérience au sein des grandes collaborations internationales, l'IP2i considère que le FCC constitue une opportunité majeure pour repousser les frontières de la connaissance et relever les défis scientifiques des prochaines décennies. En y apportant son expertise, le laboratoire contribue à une recherche exigeante, ouverte sur la société et attentive à ses impacts, afin de préparer les connaissances, les compétences et les innovations de demain.



I. Une expertise construite avec le CERN

Créé au lendemain de la Seconde Guerre mondiale avec une volonté politique forte de collaboration pacifique entre nations autour de questions fondamentales, le CERN n'a cessé de se développer en intégrant de nouveaux États membres. Au-delà des savoir-faire techniques, la participation à ces collaborations apprend aussi à construire des décisions collectives entre personnes de nationalités, de cultures et de disciplines différentes. Cette capacité à partager les connaissances, à poursuivre des objectifs communs et à construire la confiance constitue en elle-même une valeur pour la société. **L'Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon (IP2I)**, fondé avant-guerre sous le nom d'Institut de physique atomique et comptant parmi les plus anciens laboratoires français du domaine, est l'un des acteurs français historiques de cette aventure scientifique et humaine.

Situé au cœur de la région Auvergne-Rhône-Alpes, à moins de 200 kilomètres du Laboratoire européen pour la physique des particules (CERN), l'IP2I entretient avec celui-ci une relation scientifique continue, fondée sur une implication durable dans les grandes expériences internationales. Cette proximité géographique, associée à une expertise développée sur plusieurs générations d'expériences, confère aujourd'hui à l'IP2I une légitimité particulière pour contribuer au débat public sur le Future Circular Collider (FCC). Cette expertise mobilise chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, doctorants et étudiants.

Cette expertise collective et cette relation de long terme avec le CERN se sont construites progressivement, au fil des grandes infrastructures et expériences qui ont marqué son histoire. Les équipes lyonnaises ont participé à l'expérience NA38 auprès du Super Proton Synchrotron (SPS), avant de contribuer à DELPHI, l'une des quatre grandes expériences du collisionneur électron-positon LEP, qui a permis de tester avec une précision sans précédent le Modèle standard de la physique des particules. Lorsque la communauté internationale a préparé la génération suivante d'accélérateurs, l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL), devenu aujourd'hui l'IP2I, figurait parmi les signataires de la première Lettre d'intention de la collaboration CMS, témoignant d'un engagement précoce dans la préparation scientifique et technologique du Grand Collisionneur de hadrons (LHC). Aujourd'hui, plusieurs équipes de l'IP2I poursuivent cet engagement à travers les expériences CMS et ALICE au LHC, ainsi que le projet international DUNE, consacré à l'étude des neutrinos [1]. Dans CMS, les équipes lyonnaises ont contribué à la découverte du boson de Higgs dans le canal à deux photons. Elles étudient aujourd'hui ses propriétés, notamment par la

production de paires de bosons de Higgs, qui renseigne sur l'auto-interaction du champ de Higgs. Elles réalisent également des mesures de précision du quark top pour tester les symétries fondamentales et rechercher de nouveaux phénomènes, tout en préparant les évolutions des détecteurs de traces et des détecteurs à muons pour le programme de haute luminosité du LHC. Dans ALICE, elles étudient le plasma de quarks et de gluons, un état de la matière des premiers instants de l'Univers, et ont contribué à la construction, à la mise en service et à l'utilisation scientifique du trajectographe situé à l'avant du détecteur. Pour le projet DUNE, elles développent notamment l'électronique cryogénique de lecture des détecteurs à argon liquide. Elles ont également conçu et mis en œuvre les systèmes de numérisation, de synchronisation et d'acquisition de données de ProtoDUNE sur la plateforme Neutrinos fournie par le CERN.

Ces engagements successifs ont permis à l'IP2I de développer des compétences de haut niveau en instrumentation, en électronique et en traitement des données.

II. Une expertise mobilisée pour préparer le FCC

La physique subatomique cherche à comprendre de quoi la matière est faite, comment ses constituants élémentaires interagissent et quelles lois gouvernent leur comportement. En étudiant les particules et les forces fondamentales, elle éclaire les mécanismes à l'œuvre dans les premiers instants de l'Univers et la formation de la matière qui nous entoure. Elle tente également de résoudre des énigmes auxquelles le Modèle standard ne répond pas encore, comme la nature de la matière noire, l'origine de l'asymétrie entre matière et antimatière ou certaines propriétés des neutrinos. La découverte du boson de Higgs au LHC a constitué une étape majeure, mais elle laisse ouvertes plusieurs questions fondamentales auxquelles le modèle standard ne répond pas.

Le FCC permettrait de produire en très grand nombre des bosons Z et W, des bosons de Higgs et des quarks top, afin d'en mesurer les propriétés avec une précision inégalée. Ces mesures pourraient révéler les effets indirects de particules ou de phénomènes encore inconnus et orienter l'exploration de la physique au-delà du Modèle standard. Le collisionneur électron-positon envisagé pour le FCC serait avant tout un instrument de précision. Pour exploiter pleinement les données qu'il produirait, les détecteurs devront mesurer les propriétés des particules avec une précision supérieure à celle accessible au LHC. Le trajectographe jouera à cet égard un rôle essentiel : il devra reconstruire très précisément les trajectoires et les points de désintégration des particules, tout en utilisant aussi peu de

matière que possible afin de ne pas perturber les mesures.

C'est sur cet enjeu que se concentre la contribution de l'IP2I. En s'appuyant sur l'expérience acquise auprès de CMS et d'ALICE, ses équipes participent à la simulation de plusieurs concepts de trajectographes afin d'en comparer les performances et de définir les besoins de leur électronique de lecture et de leurs logiciels de reconstruction. Parallèlement, des équipes expérimentales et théoriques de l'IP2I étudient les possibilités de découverte offertes par le FCC-ee : mesures de précision du boson de Higgs, du secteur électrofaible et du quark top, mais aussi recherche de nouvelles particules légères, comme les particules de type axion (ALP), ou de désintégrations rares. Ces études permettent de traduire les objectifs scientifiques du FCC en performances concrètes pour les futurs détecteurs.

Préparer le FCC consiste ainsi, dès aujourd'hui, à traduire ses ambitions scientifiques en exigences concrètes pour les détecteurs qui permettront de les réaliser. C'est dans cette articulation entre objectifs scientifiques et choix instrumentaux que s'inscrit aujourd'hui la contribution de l'IP2I à la préparation du FCC.

III. Former les scientifiques de demain

Les grandes infrastructures de recherche se construisent sur plusieurs décennies. Cette temporalité permet aux étudiants et aux jeunes chercheurs de se familiariser avec les différentes étapes d'un grand projet scientifique, des premières études à l'exploitation des instruments. À l'IP2I, ces activités alimentent directement les formations de l'Université Claude Bernard Lyon 1, notamment le master Physique fondamentale et applications. Stages et projets permettent aux étudiants de découvrir les technologies développées pour les expériences internationales et de participer à des travaux menés avec le CERN.

Cette immersion leur apporte des compétences qui dépassent largement la physique des particules : conception d'instruments complexes, développement de systèmes électroniques et de logiciels, analyse de grands volumes de données et travail au sein de collaborations internationales. Qu'ils poursuivent ou non une carrière dans la recherche fondamentale, ils pourront mobiliser ces savoir-faire dans l'industrie, le numérique, la santé ou l'environnement. La préparation du FCC contribue ainsi à former des professionnels capables d'aborder des problèmes scientifiques et technologiques complexes.

IV. Innover pour explorer, innover pour la société

L'exploration des constituants fondamentaux de la matière conduit à repousser sans cesse les limites de la technologie. Comprendre l'Univers nécessite de concevoir des détecteurs toujours plus précis, une électronique capable de traiter des milliards de signaux par seconde, des systèmes d'acquisition de données performants et des outils d'analyse adaptés à des volumes d'information considérables. Depuis plusieurs décennies, les équipes de l'IP2I développent ces compétences au travers de leur participation aux grandes expériences internationales du CERN. Les technologies conçues pour répondre à ces défis scientifiques ne restent pas confinées aux laboratoires. Elles trouvent progressivement des applications dans d'autres domaines où la précision de la mesure, la qualité de l'imagerie ou le traitement de données complexes constituent également des enjeux majeurs. Les collaborations entre recherche fondamentale, industrie, établissements de santé et acteurs publics permettent ainsi de transformer des innovations développées pour explorer l'infiniment petit en solutions répondant à des besoins concrets de la société.

A) De la détection des particules à l'imagerie des infrastructures

L'histoire de la muographie illustre particulièrement bien cette dynamique. Les physiciens développent depuis de nombreuses années des

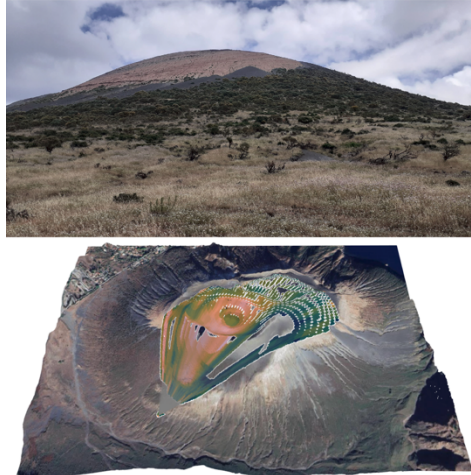


Figure 1: Structure interne du dôme de Vulcano (Italie) : vue du site (en haut) et reconstruction tridimensionnelle obtenue par muographie (en bas), à l'aide de la technologie développée par MUODIM

détecteurs capables de mesurer avec une très grande précision le passage des muons cosmiques, des particules produites naturellement dans l'atmosphère. Leur capacité à traverser plusieurs centaines de mètres de roche ou de béton permet d'utiliser leur absorption pour visualiser l'intérieur de structures massives de manière non invasive.

Transformer ce principe physique en un outil utilisable sur le terrain a nécessité de nombreuses années de recherche en instrumentation, électronique et traitement des données. Ces travaux ont conduit à la création de MUODIM [2], une entreprise issue de l'IP2I, qui développe des solutions d'imagerie non destructive permettant, par exemple, de détecter des cavités ou des obstacles sur le trajet d'un tunnelier, d'observer l'intérieur d'un haut-fourneau en fonctionnement ou de caractériser des structures géologiques. Cette dernière application est illustrée par la figure 1, qui présente une photographie du dôme de Vulcano, en Italie, ainsi qu'une reconstruction tridimensionnelle de sa structure interne obtenue par muographie.

B) Les technologies des détecteurs au service de la santé

Les compétences développées pour les expériences du CERN sont également mobilisées en imagerie médicale. En tomographie par émission de positons (TEP), un traceur administré au patient émet des positons dont l'annihilation avec les électrons des tissus produit deux photons gamma dans des directions opposées. Des détecteurs enregistrent le lieu et le moment de leur arrivée afin de reconstruire la répartition du traceur dans l'organisme. Cette technique fait ainsi appel aux mêmes savoir-faire en détection rapide, en électronique et en traitement des données que la physique des particules.

À l'IP2I, ces compétences sont notamment appliquées au développement d'une électronique de mesure temporelle très précise pour les futures générations de TEP. Ces recherches visent à améliorer la localisation des photons et, à terme, la qualité des images ou à réduire la quantité de traceur nécessaire [3].

C) De la physique des particules à la recherche médicale

Les savoir-faire de l'IP2I en détection et en imagerie sont mobilisés dans des collaborations avec le CERN et des partenaires académiques, hospitaliers et industriels. Avec notamment le Centre Léon Bérard, centre de lutte contre le cancer, et CREATIS (CNRS, Inserm, INSA Lyon et Université Claude Bernard Lyon 1), les équipes lyonnaises ont participé à quatre programmes européens du réseau ENLIGHT [4] : PARTNER et ENTERVISION pour la formation de jeunes chercheurs, ULICE pour la

coopération et l'accès aux centres d'hadronthérapie, et ENVISION pour le développement de techniques d'imagerie. À l'IP2I, ces travaux ont notamment concerné la détection des rayonnements émis pendant l'irradiation et la reconstruction d'images pour contrôler la zone d'arrêt du faisceau [5].

Ces travaux montrent comment les savoir-faire issus de la physique des particules contribuent à une recherche médicale multidisciplinaire associant physiciens, biologistes, médecins et spécialistes de l'imagerie.

V. Contribuer à des choix scientifiques et technologiques éclairés

C'est dans cette perspective que l'IP2I contribue aujourd'hui au projet du FCC. Préparer les détecteurs et les technologies de demain, c'est créer les conditions de futures découvertes, mais aussi développer des compétences et des innovations susceptibles de trouver des applications au-delà de la physique des particules. Investir dans la recherche fondamentale, c'est aussi renforcer la capacité de notre société à innover et à aborder des défis scientifiques et technologiques complexes.

Ces perspectives ne dispensent pas d'examiner les enjeux environnementaux, économiques et sociétaux. Dans l'étude des futurs détecteurs, l'IP2I participe avec ses partenaires à une démarche collective visant à mieux prendre en compte l'empreinte environnementale des choix scientifiques et technologiques. Cette attention concerne également les pratiques de recherche, notamment les achats et les déplacements, dans une logique d'amélioration progressive.

À l'échelle du projet, les études préalables portent aussi sur la faisabilité technique, les besoins énergétiques, l'empreinte environnementale et les conditions de réalisation, afin d'éclairer les décisions à venir. Le débat public permet de confronter ces éléments aux objectifs scientifiques et aux attentes de la société. C'est précisément pour partager son expertise et contribuer à cet examen collectif que l'IP2I y prend part.

Pour le laboratoire, soutenir le projet du FCC, c'est promouvoir une recherche ambitieuse, ouverte sur la société, attentive à ses impacts et tournée vers les générations futures.

Références

- [1] [IP2I - Infiniment Petit](#)
- [2] [MUODIM](#)
- [3] [FASTIME](#)
- [4] [CERN – réseau ENLIGHT et programmes européens](#)
- [5] [IP2I – Equipe PRISME](#)

